

CONTRIBUCIÓN AL DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE RED
PARA LA INTEGRACIÓN DE SERVICIOS DE PAQUETES DE
DATOS EN EL SISTEMA UMTS

Tesi Doctoral presentada en la
Universitat Politècnica de Catalunya

Autora: **Anna Umbert Juliana**
Directora: **Pilar Díaz Romero**

Julio 2008

Capítulo 6. Emulador de la red de acceso de UMTS

La incorporación de los servicios ofrecidos en Internet y de nuevos servicios relacionados con Internet en los sistemas de comunicaciones móviles promete un éxito seguro para el futuro de estos sistemas. En efecto, el estándar de comunicaciones móviles de 3G definido en Europa, el **Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)**, no soporta solamente voz, sino que también debe soportar tráfico de imágenes de alta calidad y vídeo conjuntamente, entre otros. Estos tráficos requieren servicios y calidades diferentes, y además generan tasas de transmisión de bit variables.

La mayoría de estos nuevos servicios están orientados a transmisión de paquetes, por lo que es importante estudiar protocolos para estos servicios. En particular para la red Internet, el protocolo que se usa para transportar paquetes es el **Internet Protocol (IP)**, bien en su versión actual la 4 (**IPv4**) o bien en su versión avanzada la 6 (**IPv6**).

Una de las principales tareas que se están realizando actualmente en el campo de las comunicaciones móviles es el estudio de técnicas basadas en IP que sean capaces de soportar movilidad y calidad de servicio (**QoS: Quality of Service**) semi-garantizada.

Para realizar este estudio se requiere disponer de una red con arquitectura IP, un acceso radio y por lo menos un usuario móvil. Lógicamente antes de montar una red real, es aconsejable montar una red de prueba para poder analizar el comportamiento de los diferentes componentes, de los diferentes protocolos, y de los diferentes procedimientos.

Existen diferentes criterios para montar una red de prueba: se puede construir un simulador software que reproduzca cada una de las partes de la red, se puede construir una red real a pequeña escala, o se puede hacer un emulador por medio de software que realice las mismas funciones que el sistema real. En la presente tesis se ha elegido esta última opción, la construcción de un emulador de la red de acceso radio del UMTS.

En este capítulo se presenta el emulador de la red de acceso de UMTS creado [1][2][3][4]. En primer lugar se describe dicho emulador, las opciones de configuración y las estadísticas calculadas. A continuación se presentan la validación, algunos análisis realizados y se extraen las conclusiones del estudio.

6.1. Descripción del emulador

El emulador de la red de acceso creado se ha bautizado con el nombre de URAE (UMTS Radio Access Emulator). El URAE, que se describe a continuación, ha sido diseñado para actuar como plataforma flexible. La flexibilidad permite diferentes configuraciones de la red de manera que se puedan probar técnicas, protocolos y algoritmos de gestión de recursos radio en diferentes situaciones.

Este emulador reproduce el comportamiento del canal radio digital, y de las capas física y de enlace (MAC, RLC y PDCP) del equipo de usuario, del Nodo B y del RNC, dicho de otra forma actúa como las capas bajas del interfaz radio de UMTS.

Una característica muy importante del URAE es su funcionamiento en tiempo real. Esta característica permite realizar diferentes análisis considerando la red de prueba como una parte de un sistema real de comunicaciones móviles de tercera generación. Efectivamente, el emulador permite ser configurado para trabajar con los mismos mecanismos que se usaran en las capas bajas del interfaz radio de UMTS tal como se explica en el siguiente apartado.

Considerando la pila de protocolos en el plano de transporte de paquetes existen dos posibles soluciones en función de hasta dónde se utiliza el protocolo IP. En el presente estudio se ha seleccionado la solución mostrada en la Figura 6-1, que es una evolución de la arquitectura clásica en el mundo de las telecomunicaciones, en ella el protocolo IP llega a nivel de RNC [5].

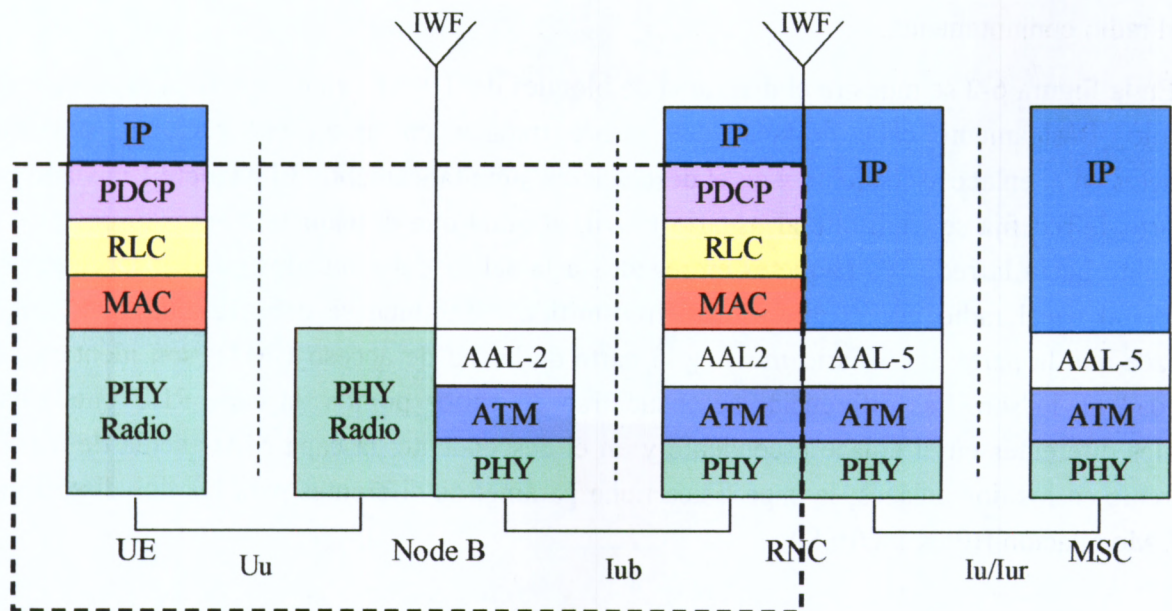


Figura 6-1. Arquitectura de protocolos de la red de Acceso Radio en el plano de usuario

Teniendo en cuenta que el URAE reproduce la parte incluida en el rectángulo discontinuo de la figura anterior, se observa que, en principio, el emulador debe recibir paquetes IP procesarlos y entregar otra vez paquetes IP al otro extremo. La construcción de esta arquitectura de protocolos en el emulador se ha realizado en cuatro partes separadas que una vez validadas se han unido para formar el emulador. La construcción del canal radio y la capa física (parte 1) se han presentado extensamente en el capítulo 4, mientras que las construcciones de las subcapas de la capa de enlace (MAC, RLC, y PDCP: partes 2, 3 y 4) se han presentado en el capítulo 5.

La subcapa de protocolo de compresión de datos (PDCP) debe comprimir las cabeceras de los paquetes IP en función del protocolo usado por encima del IP: IPCH para las cabeceras TCP/IP y ROCH para las RTP/UDP/IP.

La capa de control del enlace radio (RLC) debe segmentar estos paquetes para ser transmitidos por el interfaz radio y aplicar retransmisiones en caso de trabajar en modo reconocimiento.

La capa de control de acceso al medio (MAC) es la que se ocupa de los mecanismos o protocolos que garantizan que un número de usuarios puedan acceder a un recurso compartido de forma ordenada y equitativa o según ciertas prioridades negociadas. Su función es muy importante en un sistema de comunicaciones móviles ya que las tareas que realiza son críticas.

Y por último la capa física se encarga de adaptar la información para ser transmitida por el canal radio, eso incluye la inclusión de códigos, los entrelazados, etc. Para reproducir esta parte

se ha hecho uso de un emulador basado en cadenas de Markov que reproduce la capa física y el canal radio conjuntamente.

En la Figura 6-2 se muestra el diagrama de bloques del URAE, en él se refleja la esencia del módulo. Básicamente cabe destacar que puede trabajar en modo bidireccional, enviando paquetes en el enlace ascendente y en el descendente simultáneamente. El paquete 1 enviado por la parte de red fija se transmite al usuario móvil, al igual que el paquete 2 enviado por este se transmite hacia la red. Los paquetes entregados a la salida del emulador pueden tener errores debido al canal radio por el que se han transmitido. También se debe resaltar que aunque parezca que la parte del usuario móvil y la parte de la red de acceso UMTS son idénticas, en realidad no lo son. Las diferencias se encuentran en varios puntos: la capa RLC puede usar canales diferentes en el enlace ascendente y en el descendente; la capa MAC actúa de manera diferente en los dos enlaces; la capa física tiene parámetros diferentes para las dos direcciones (p.e. Modulación BPSK y QPSK)...

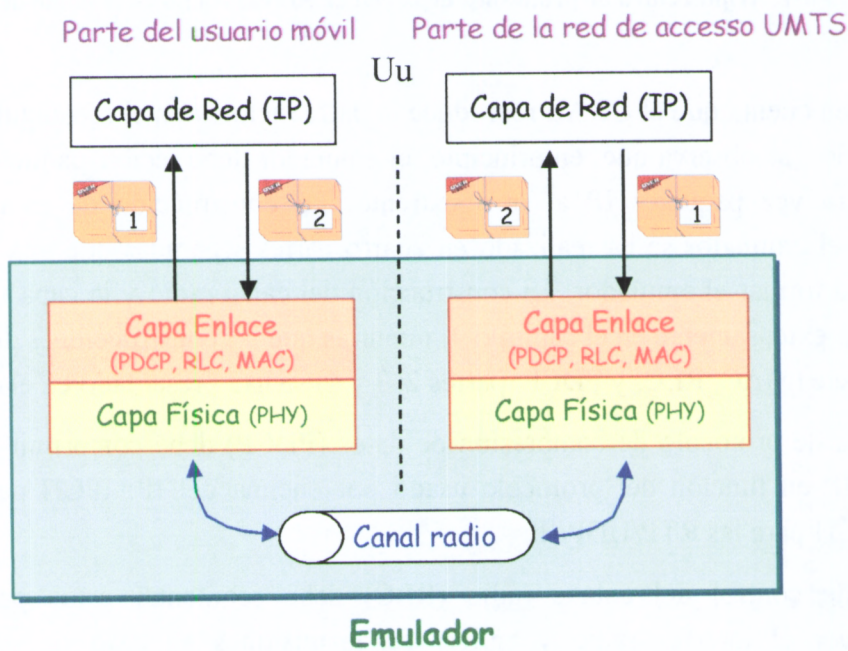


Figura 6-2. Diagrama de bloques del URAE

6.2. Opciones de configuración

El sistema diseñado dispone de un conjunto de parámetros que deben ser seleccionados. La combinación de estos parámetros permite analizar diferentes servicios o bien el mismo servicio en diferentes condiciones.

Se deben escoger parámetros correspondientes a diferentes niveles, así se clasifican en:

1).-Parámetros relacionados con los diferentes escenarios en los que se puede trabajar. Estos son, por ejemplo:

- la velocidad del terminal móvil, que puede ser 120 km/h, 50 km/h o 3 km/h;
- la carga de tráfico del sistema: alta (hay muchos usuarios), media, baja (hay pocos usuarios).

2).-Parámetros relacionados con el funcionamiento interno del sistema, como puede ser:

- el modo de funcionamiento de la subcapa RLC del interfaz Uu. Existen tres opciones:
 - i. Modo transparente: la información se segmenta y se pasa sin añadir ninguna cabecera, de manera que en el destino no se garantiza que la información se entregue en orden.
 - ii. Modo No reconocimiento: la información se segmenta se le añade una cabecera y se pasa por el canal, de forma que en el destino se garantiza que la información que se entrega está ordenada.
 - iii. Modo reconocimiento: la información se segmenta se le añade una cabecera y se pasa por el canal aplicando retransmisiones en caso de pérdida o errores en el paquete, de forma que en el destino se garantiza que la información que se entrega esta ordenada y no tiene errores.
- el uso de códigos de canal en la capa física: Sí o No;
- el uso de canales con control de potencia en lazo cerrado: Sí o No;
- el uso de compresión de cabeceras a nivel PDPC: Sí o No;
- el algoritmo de gestión de los recursos radio a nivel MAC.

3).-Parámetros relacionados con el servicio que se estudia. Por ejemplo el tipo de tráfico se puede escoger entre cuatro valores: conversacional (el servicio de voz,...), streaming (el video o transferencia de información continuada), interactivo (la consulta de páginas WEB,...), y background (el servicio de e-mail,...). Para cada uno de estos tipos de tráfico se definen unos parámetros de calidad deseados que se consultan para asignar los

recursos del sistema. Unos posibles valores de dichos parámetros para el tráfico streaming, interactivo y background se muestran en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Parámetros de calidad de servicio

Traffic Class	System Load	PER IP packet	Delay IP packet	Average Bit rate
Streaming	LOW	1%	60 ms (DL) 120 ms (UL)	200 Kb/s (DL) 100 Kb/s (UL)
	MEDIUM	5%	60 ms (DL) 120 ms (UL)	200 Kb/s (DL) 100 Kb/s (UL)
	HIGH	10%	60 ms (DL) 120 ms (UL)	200 Kb/s (DL) 100 Kb/s (UL)
Interactive	LOW	<5%	<100 ms	<200 Kb/s
	MEDIUM	<5%	<250 ms	<60 Kb/s
	HIGH	<5%	<400 ms	<25 Kb/s
Background	-----	Best	Effort	-----

DL: downlink, UL: uplink

6.3. Estadísticas analizadas

A parte de los paquetes de datos que se envían a través del emulador, se han definido un conjunto de parámetros de salida que son estadísticas calculadas durante la ejecución del emulador.

Del mismo modo que la tasa de error de bit (BER: **Bit Error Rate**), característica de cualquier canal de comunicación, es uno de los parámetros básicos para evaluar la calidad de una transmisión, en los servicios orientados a paquetes se define la tasa de error de paquete, y/o bloque según el contexto. La tasa de error de paquete (PER: **P**acket **E**rror **R**ate), y la tasa de error de bloque (BLER: **B**lock **E**rror **R**ate) se analizan sobre los paquetes que pasan por el emulador a diferentes niveles.

En el URAE también se calculan retardos de procesamiento y entrega de los paquetes, y se almacenan los SF y las Eb/No usados.

La definición de cada uno de estos parámetros usados y las estadísticas analizadas se muestra en las ecuaciones (6.1) a (6.4).

$$BER = \frac{n^{\circ} \text{ bits erróneos}}{n^{\circ} \text{ bits transmitidos}} \quad (6.1)$$

$$BLER = \frac{n^{\circ} \text{ radio bloques erróneos}}{n^{\circ} \text{ radio bloques transmitidos}} \quad (6.2)$$

$$PER = \frac{n^{\circ} \text{ paquetes IP erróneos}}{n^{\circ} \text{ paquetes IP transmitidos}} \quad (6.3)$$

Para la *BER*, *BLER*, y *PER* se han calculado la media, el valor instantáneo y la desviación.

$$Retardo = T_{_destino_IP} - T_{_origen_IP} \quad (6.4)$$

El retardo es el tiempo entre que se recibe por completo un paquete IP y el tiempo en que se empezó a enviar ese paquete. Este parámetro no tiene en cuenta la espera del paquete a ser transmitido (*latency*). Para el *Retardo* también se han calculado la media, el valor instantáneo y la desviación.

Además el emulador almacena la distribución de SF y de Eb/No usados a lo largo de una ejecución.

6.4. Validación

Para verificar el correcto funcionamiento de la plataforma creada se han realizado un conjunto de pruebas para verificar cada una de sus partes, comentadas en los capítulos anteriores, y la comunicación entre ellas. En concreto, el emulador creado se ha sometido a un extenso proceso de validación realizado en diferentes fases.

En una primera fase se comprobó la correcta transmisión de la información. Esto se hizo considerando un canal radio ideal (sin errores) y comprobando que el emulador realizaba correctamente las funciones asignadas: comprimía, segmentaba, añadía la cabecera, enviaba, volvía a construir el paquete y lo entregaba.

Una vez superada esta fase de comunicación, se integró la parte que reproduce los canales radio reales y se procedió a comprobar a partir de sus estadísticas que el emulador funcionaba correctamente. Para verificar éstas se realizaron un conjunto de pruebas con el emulador y con

un simulador software en paralelo. Este simulador trabaja con los mismos mecanismos de asignación de recursos usados para implementar el MAC y simula las funciones de las otras partes del sistema sin entrar en el detalle de su ejecución. Las pruebas en el simulador son mucho más rápidas de lo que sería la transmisión del mismo volumen de información en el sistema real. Esto se debe a que el simulador no segmenta ni añade errores, simplemente cuenta estadísticas.

En la Figura 6-3 se muestra un ejemplo de esta validación, en concreto la gráfica muestra el valor de PER obtenido con las tres cargas del sistema consideradas, para el enlace ascendente de un móvil desplazándose a 120 km/h y usando una aplicación de transferencia de información continuada (*streaming*). Se ha considerado que el RLC trabaja en modo transparente para un servicio de tipo streaming y que no hay compresión de cabeceras a nivel PDCP. El flujo de información aplicado en esta prueba consiste en enviar un paquete de 1500 bytes cada 60 ms.

Para cada uno de los puntos de la grafica se han enviado 50000 paquetes en el emulador y 10^7 paquetes en el simulador.

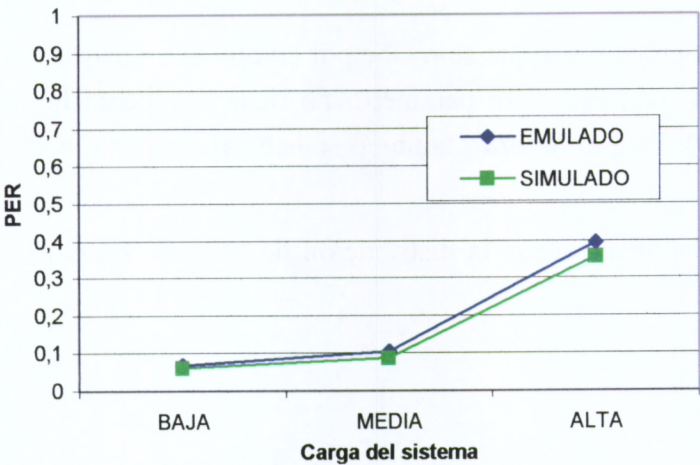


Figura 6-3. Validación de la tasa de error de trama

Los resultados obtenidos en la validación son muy precisos. Una muestra de esta precisión puede observarse en la validación de la PER presentada en la Figura 6-3. En efecto, la máxima variación entre el valor simulado y el valor emulado es de 0.03 para un valor de PER del 0.36.

6.5. Análisis realizados

El emulador creado se ha utilizado para diferentes tipos de análisis en el transcurso de la presente tesis. Para ello se creó una red, ver Figura 6-4, con un único terminal móvil, un Nodo B, un controlador radio (RNC), un router para conectarse a una red IP privada (Intranet), y un servidor de aplicaciones de Internet. Para conectar el RNC con el router hace falta un elemento intermedio: Inter Working Unit (IWU).

En la Figura 6-4 se puede observar que el terminal móvil, el canal radio, el Nodo B, el RNC y el IWU se emularon con estaciones de trabajo y el emulador de la red de acceso en tiempo real, mientras que para el equipo terminal, el servidor de aplicaciones, la red privada IP y el router se usaron dispositivos reales.

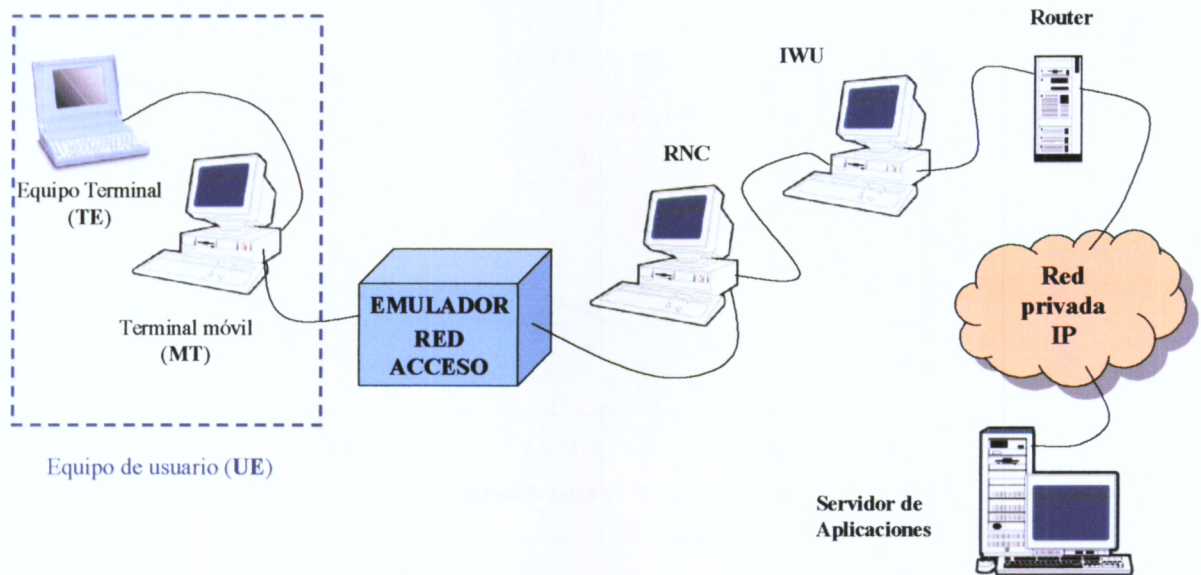


Figura 6-4. Arquitectura de la red de prueba

A continuación se muestran algunos resultados de los análisis realizados.

6.5.1 Impacto del tamaño del paquete

En este análisis se estudió la importancia del tamaño de los paquetes enviados. En particular se compararon paquetes IP de 1500 bytes y paquetes IP de 500 bytes transmitidos sin ningún tipo de retransmisión. Tal como muestra la Figura 6-5, los paquetes largos tienen más dificultades para ser transmitidos sin error a través del interfaz aire. Como era de esperar, la probabilidad de tener bits erróneos en un paquete aumenta cuando aumenta el número de bits del paquete.

Así pues, las aplicaciones que generan paquetes largos tienen más dificultades para ser usadas desde un terminal móvil. Varias pruebas realizadas en este estudio indican que los paquetes más grandes de 500 bytes (4000 bits) tienen dificultades para ser transmitidos correctamente en una conexión sin hilos (wireless). Una posible solución para usar estas aplicaciones en un entorno UMTS, consiste en añadir una segmentación extra y aplicar retransmisiones.

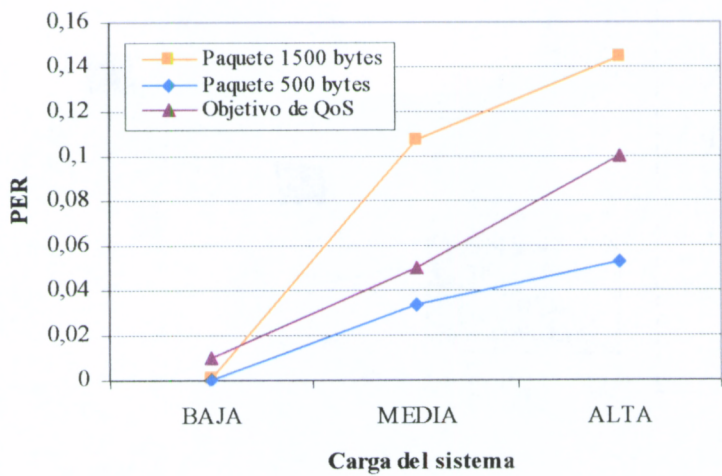


Figura 6-5. PER medida para tráfico streaming a 50 Km/h en enlace descendente

6.5.2 Modo transparente versus modo reconocimiento

En este análisis se compararon los modos transparente (TM) y reconocimiento (AM) del RLC para estudiar las retransmisiones y sus consecuencias. En concreto se comparó un tráfico trabajando con un RLC AM, que implementa un mecanismo de repetición selectiva, con un tráfico trabajando con un RLC TM, que no usa retransmisiones. En el primer caso para garantizar un determinado valor de PER se requieren más retransmisiones a medida que el número de usuarios en el sistema aumenta, lo que se traduce en un mayor retardo para transmitir correctamente un paquete IP. En el segundo caso el retardo es casi constante, mientras que la PER aumenta a medida que aumenta el número de usuarios activos.

En la Figura 6-6 se muestra la PER versus el retardo en los dos casos para el enlace descendente de un móvil desplazándose a 50 km/h.

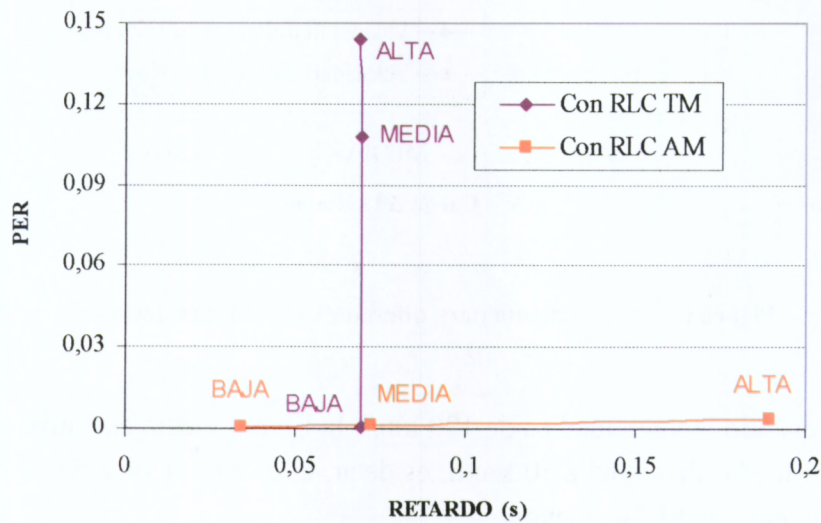


Figura 6-6. Uso de retransmisiones (AM) versus no uso (TM)

Por consiguiente las aplicaciones que requieren un retardo constante no pueden usar retransmisiones, mientras que las aplicaciones que están limitadas por un valor de PER deben usar retransmisiones aunque eso suponga aumentar el retardo.

6.5.3 Efecto de la velocidad del móvil

La velocidad a la que un usuario móvil se desplaza influye en la correcta transmisión de la información. En este análisis se compararon las estadísticas de dos usuarios desplazándose a 50 km/h y a 120 km/h, y usando una misma aplicación. En la Figura 6-7 se dibuja la media de Eb/No del canal radio en las tres situaciones de carga consideradas para la dirección descendente.

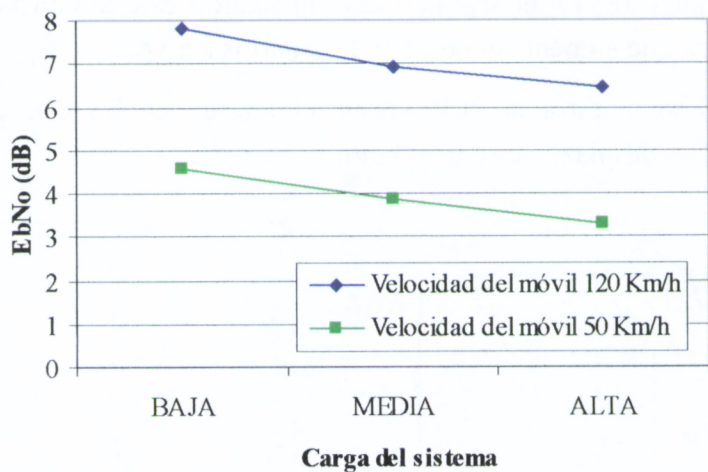


Figura 6-7. Eb/No media para diferentes velocidades del móvil

Observar que cuando la velocidad es de 120 km/h la Eb/No media es aproximadamente 3 dB mayor que el valor medio del canal a 50 km/h, es decir, el canal que observa el usuario que va a más velocidad requiere una Eb/No mayor.

Ciertamente el canal radio del usuario con velocidad 50 km/h genera menos errores ya que los desvanecimientos del canal se pueden compensar con el uso de mecanismos de control de potencia y en consecuencia se puede permitir una Eb/No menor. Mientras que en el canal a 120 km/h el control rápido de potencia no es capaz de compensar los desvanecimientos por lo que el comportamiento es peor y se requiere una mayor Eb/No.

Además puede observarse que la Eb/No disminuye al aumentar la carga del sistema, ya que se ha utilizado un tráfico tipo streaming y los requerimientos de PER son menos restrictivos al aumentar la carga del sistema (ver Tabla 6-1).

6.5.4 Necesidad de códigos de canal

Es bien conocida la necesidad de códigos de canal cuando se envía información a través de un canal radio. Efectivamente los códigos de canal protegen la información enviada de manera que se mejora el throughput (=bits recibidos correctamente / bits totales enviados). Esta mejora es esencial para transmitir en una conexión wireless. En el presente estudio se han comparado aplicaciones sin usar código de canal y usando un código convolucional. La Figura 6-8 muestra la PER para una aplicación con tráfico streaming a 50 km/h en el enlace ascendente cuando no se usan códigos de canal y cuando se usa el código convolucional de tasa 1/3 propuesto en las especificaciones del 3GPP [6][6].

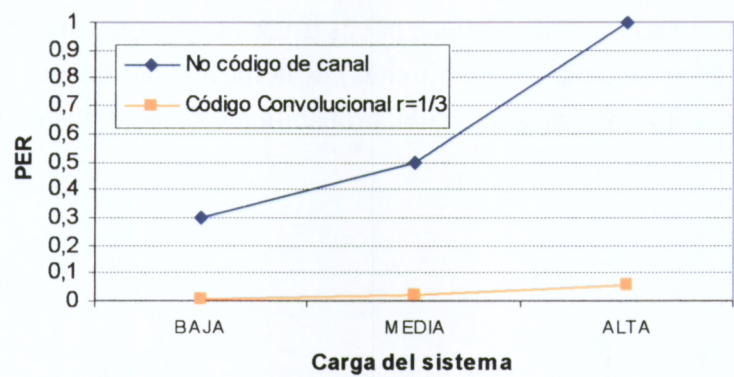


Figura 6-8. Uso de códigos de canal versus no uso

De los resultados se observa que la PER no puede ser menor de 0.3 cuando no se usan códigos de canal. Además cuando hay muchos usuarios generando tráfico es imposible transmitir sin códigos ya que la PER siempre es 1.

La posibilidad de utilizar el emulador creado sin códigos de canal abre las puertas al análisis de diferentes códigos con diferentes características. Así pues, se pueden comparar varios esquemas de codificación de canal bajo diferentes condiciones de test para encontrar el más adecuado para cada aplicación.

6.5.5 Influencia de la carga del sistema

Los algoritmos del MAC para gestionar los recursos radio constituyen uno de los frentes de estudio más de moda hoy en día. En función del criterio seguido se utilizará más unos Spreading Factors (SF) u otros, lo que originará distribuciones de uso de SF diferentes. Con el emulador creado se puede almacenar los SF usados en una ejecución para su posterior estudio, así como también las Eb/No requeridas.

En la Figura 6-9 se muestra la distribución de SF del enlace descendente para un usuario de streaming desplazándose a 120 km/h y usando codificación convolucional de tasa 1/3. El algoritmo de asignación de recursos aplicado es a priori el más sencillo y consiste en transmitir siempre a la máxima velocidad posible, siempre y cuando existan datos para transmitir en el buffer, de manera que cuando el sistema tiene pocos usuarios activos (carga baja) la probabilidad de usar SF bajos (es decir velocidades de bit altas) es la mayor, del mismo modo que cuando el sistema tiene muchos usuarios (carga alta) la probabilidad de no transmitir (No_Tx) toma el valor más alto.

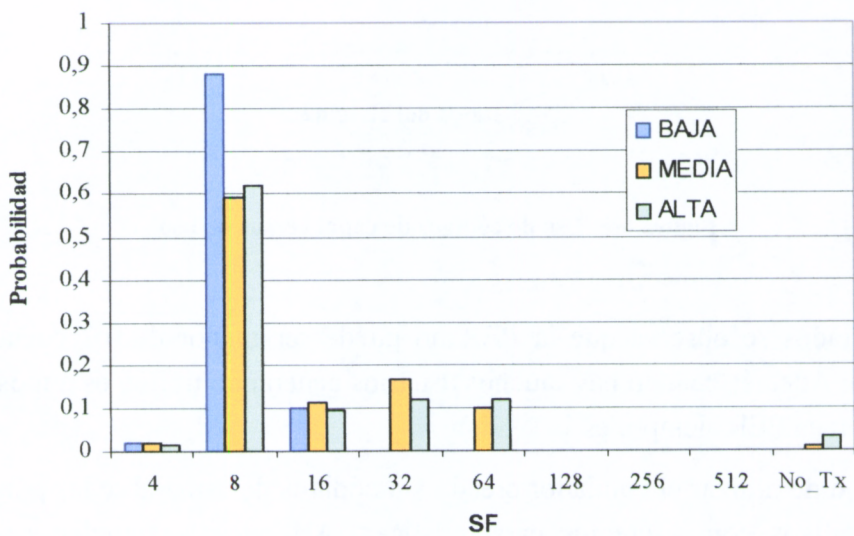


Figura 6-9. Distribución de SF para los diferentes niveles de carga del sistema

6.5.6 Tráfico interactivo versus tráfico background

El emulador creado también sirve para comparar diferentes tipos de tráfico. A continuación se muestra un ejemplo de comparación entre el tráfico interactivo y el background para el enlace descendente de un usuario desplazándose a 120 km/h, usando códigos de canal y el modo reconocimiento del RLC (con retransmisiones).

Para realizar este análisis se ha aplicado la misma tasa de información a los dos tráfico, aunque en una situación realista el tráfico background debería ser menor que el interactivo.

En la Figura 6-10 se presenta el retardo. Es importante resaltar que el retardo es mayor para el tráfico interactivo que para el background. Aunque este comportamiento parece erróneo, o al menos no lógico, es correcto y puede justificarse analizando las Figura 6-11 a Figura 6-13.

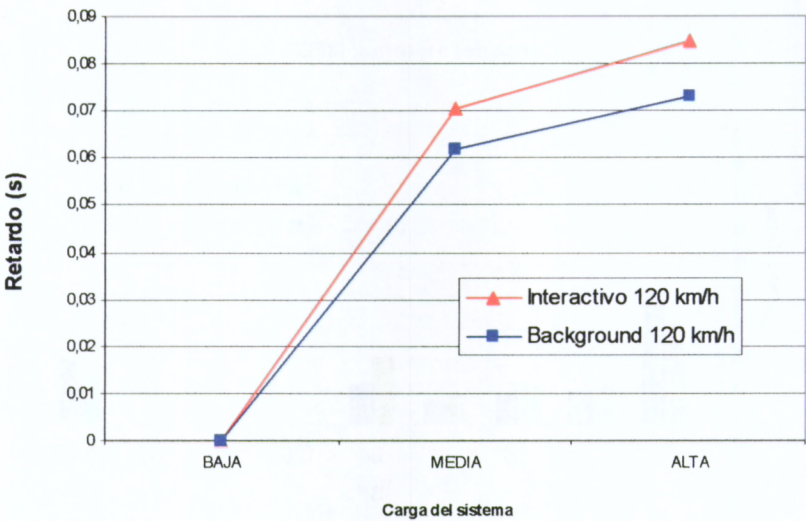


Figura 6-10. Retardo en el enlace descendente

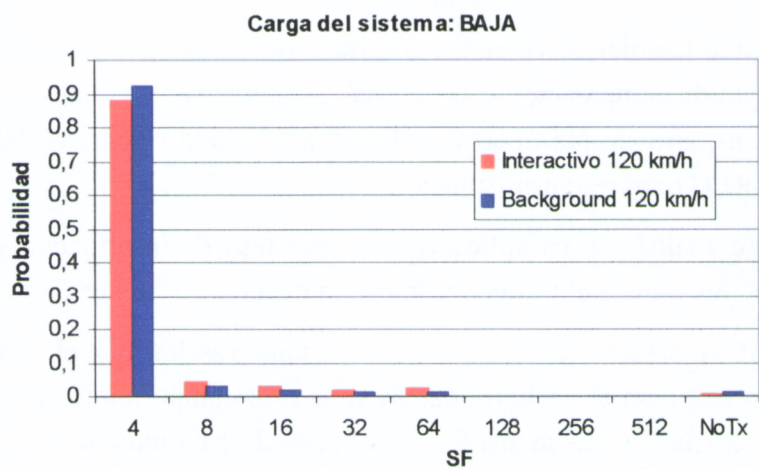


Figura 6-11. Distribución de SF para sistema de carga baja

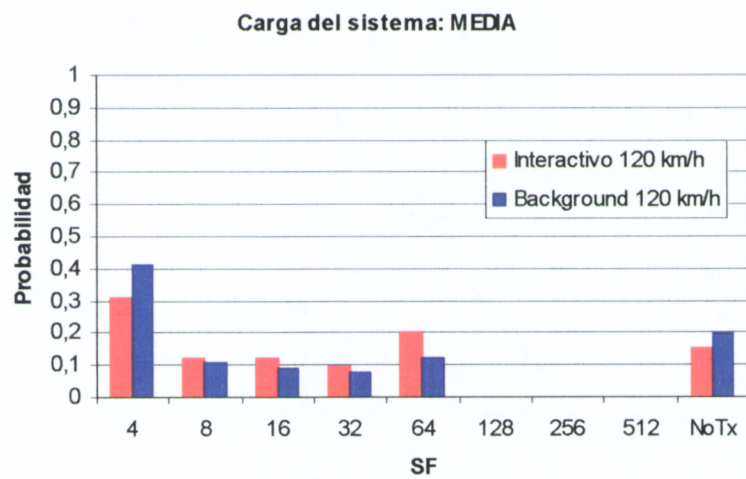


Figura 6-12. Distribución de SF para sistema de carga media

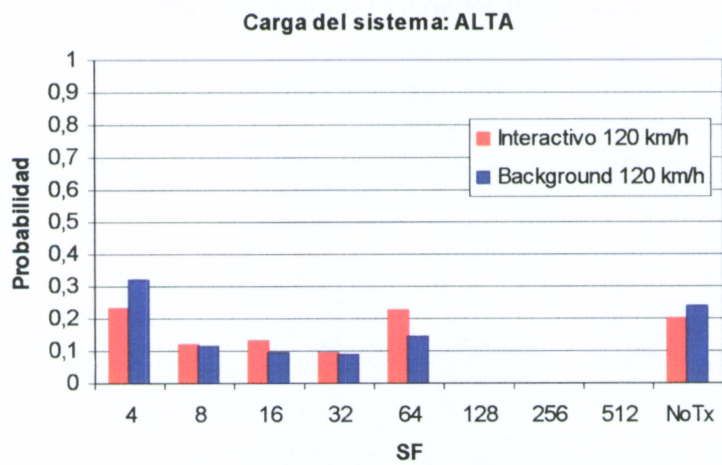


Figura 6-13. Distribución de SF para sistema de carga alta

En las tres últimas figuras se muestra la distribución de SF para las diferentes situaciones de carga del sistema. En ellas se observa que la distribución para el background y para el interactivo es similar, pero siempre el background tiene mayor probabilidad en SF=4. Lo que significa que tendrá una tasa de bit para transmitir más alta y en consecuencia el retardo será menor.

En efecto, la tasa de bit puede calcularse a partir de estas distribuciones de SF y sus resultados se muestran en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Tasa de bit media

Bit rate (Kbps)	Interactive	Background
BAJA	465.685	483.095
MEDIA	218.959	257.601
ALTA	178.354	214.821

Todavía con el mismo ejemplo, si analizamos la PER, ver Figura 6-14, observamos que es mucho mayor para el background que para el interactivo.

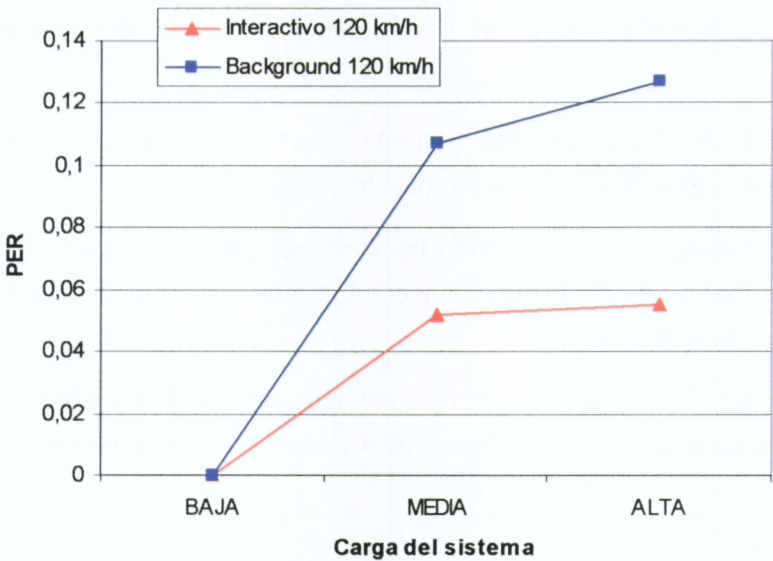


Figura 6-14. Comparación de la PER en enlace descendente

La clave está en el control de potencia ya que se ha considerado que el tráfico background (por ejemplo una aplicación de e-mail) se transmite a través de los canales RACH/FACH, mientras que el tráfico interactivo se transmite a través de canales dedicados (DCH). Los primeros no tienen control de potencia en lazo cerrado, y por eso introducen más errores que el DCH que sí tiene control de potencia en lazo cerrado. Así si la BER es mayor, en consecuencia la PER también será mayor.

6.6. Conclusiones del estudio

Se ha construido un emulador, llamado URAE, que permite estudiar en tiempo real los servicios de paquetes de datos en el sistema UMTS. Este análisis es muy importante para integrar los servicios ofrecidos en Internet, en los futuros sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación.

En este capítulo se describe a nivel conceptual el emulador creado, sus opciones y algunos ejemplos de estudios que se pueden realizar. En concreto se presentan seis análisis realizados con el URAE:

- Impacto del tamaño de los paquetes: permite analizar el tamaño adecuado de los paquetes de las aplicaciones para ser transmitidos en el interfaz radio del UMTS.
- Modo transparente versus modo reconocimiento: permite analizar la inclusión o no de reconocimientos en diferentes aplicaciones en función de sus requerimientos.
- Efecto de la velocidad del móvil: permite comparar las prestaciones de un usuario desplazándose a 50 km/h con uno desplazándose a 120 km/h.
- Necesidad de códigos de canal: permite analizar diferentes esquemas de codificación de canal.
- Influencia de la carga del sistema: permite estudiar el comportamiento de aplicaciones en diferentes situaciones de carga del sistema.
- Tráfico interactivo versus tráfico background: permite comparar el comportamiento de estos dos tipos de tráfico con el objetivo de elegir el más adecuado para una determinada aplicación.

La flexibilidad del URAE permite probar técnicas, protocolos y algoritmos de gestión de recursos en distintas situaciones de la red para servicios orientados a paquetes.

6.7. Referencias

- [1] Anna Umbert y Pilar Díaz, “URAE: a Tool to Analyze Packet Services Based Applications in UMTS”, IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC 2002, Lisboa, Portugal del 15 al 18 de setiembre de 2002.
- [2] Anna Umbert y Pilar Díaz, “Packet Data Services over Wireless Connections Study”, IEEE Vehicular Technologi Congress (VTC) Spring 2002, Birmingham, Alabama del 6 al 9 de mayo de 2002.
- [3] Anna Umbert y Pilar Díaz, “Arquitectura de red para el estudio de la transmisión de paquetes IP en entornos móviles”, Telecom I+D 2001, Madrid-Barcelona-Valencia, 21-22 de noviembre de 2001.
- [4] Anna Umbert y Pilar Díaz, “Red de acceso radio para el sistema de comunicaciones móviles de tercera generación (UMTS)”, X TELECOM I+D’2000, Barcelona-Madrid-Valencia, 22-23 de noviembre de 2000.
- [5] L.Aerts, R. Agustí, F. Casadevall, Pilar Díaz et al., “Study on the provision of Internet services and handover control protocols for target UMTS”, AC015/LUCENT/CIT/DS/I/012/b1, November 1998.
- [6] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), “Multiplexing and channel coding (FDD)” (Release 5), 3G Technical Specification (TS) 25.212 v 5.1.0, June 2002.